



فصلنامه علوم محیطی، دوره هجدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹

۱۵۲-۱۶۶

## شناسایی لکه‌های آلودگی نفتی دریای خزر به کمک سنجش از دور (مطالعه موردی:

### تأسیسات استخراج نفت باکو)

داریوش یوسفی کبریا<sup>۱\*</sup>، غزل عباسخانیان<sup>۱</sup> و عبادت قنبری پرمهر<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

<sup>۲</sup>گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۰۸

یوسفی کبریا، د. غ. عباسخانیان و ع. قنبری پرمهر. ۱۳۹۹. شناسایی لکه‌های آلودگی نفتی دریای خزر به کمک سنجش از دور (مطالعه موردی: تأسیسات استخراج نفت باکو). فصلنامه علوم محیطی. ۱۸(۳): ۱۶۶-۱۵۲.

**سابقه و هدف:** وجود منبع‌های نفتی در دریاها عملیات اکتشاف، استخراج و حمل و نقل مواد نفتی در آن‌ها سبب به‌وجود آمدن لکه‌های هیدروکربنی بر سطح دریاها می‌شود و در نتیجه کاهش سطح کیفیت این آب‌ها را در پی دارد. نشت مواد نفتی به دریاها عوارض محیط زیستی جبران‌ناپذیری دارد و اکوسیستم‌های ساحلی و دریایی را مختل می‌کند در نتیجه شناسایی مکان و زمان وقوع حوادث نفتی و تشخیص ابعاد و بزرگی آلودگی ناشی از آن‌ها برای نظارت و حفظ سلامت محیط زیست از اهمیت زیادی برخوردار است و امروزه به کمک داده‌های سنجش از دور، استفاده از ماهواره‌های اپتیکی و راداری آسان و ممکن می‌شود. در این مطالعه، به‌منظور ارتقاء قابلیت تشخیص نواحی آلودگی نفتی، با استفاده هم‌زمان ماهواره‌های اپتیکی Landsat-8، Sentinel-2 و راداری Sentinel-1 به‌دلیل قدرت تفکیک مکانی بالا و دوره بازبینی نزدیک به هم، آلودگی نفتی دریای خزر در منطقه‌ی تأسیسات نفتی آذربایجان مورد مطالعه قرار گرفت.

**مواد و روش‌ها:** در این مطالعه، بررسی آلودگی نفتی ناشی از تأسیسات نفتی Oil Rocks در دو ماه آوریل و ژوئن سال ۲۰۱۷ به‌وسیله تصاویر ماهواره‌ای انجام شد. پس از شناسایی لکه‌های آلودگی بر سطح آب در اطراف این تأسیسات در تصاویر راداری برای اطمینان از لکه‌های شناسایی شده ناشی از نشت نفت و بارسازی آلودگی نفتی از تصاویر اپتیکی از روابط نسبت بانندی استفاده شد. سپس، عملیات استخراج عوارض تصویرها با استفاده از روش نسبت بانندی انجام گرفت.

**نتایج و بحث:** مساحت به‌دست آمده از سطوح آلودگی نفتی در ماه آوریل سال ۲۰۱۷ افزایش سطح لکه‌ی نفتی را طی ۱۲ روز نشان داد که با توجه به درصد پوشش کلاس نفت و کلاس مخلوط آب و نفت در نتایج به‌دست آمده از سطوح، گویای افزایش پخش و گسترش لکه‌ی

\* Corresponding Author: Email Address. Dy.kebria@nit.ac.ir  
<http://doi.org.10.29252/envs.18.3.152>

نفتی با جریان‌های دریایی و ادامه‌ی نشت نفت از منبع تولید آن است. همچنین بررسی تصاویر اپتیکی Landsat-8 و Sentinel-2 در تاریخ ۵ ژوئن ۲۰۱۷ در میزان سطح آلودگی نفتی، نتایج نزدیک به هم را نشان داد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، نشان داد که روش نسبت‌های بان‌دی برای تشخیص سریع نشت نفت مناسب است. به‌همین جهت، برای بازسازی جزئیات ناحیه آلودگی، از روش طبقه‌بندی نسبت بان‌دی تصویر برای استخراج عوارض با کلاس‌های مشخص استفاده شد. همچنین از نظر محیط زیستی تأسیسات نفتی Oil Rocks آب‌های خزری، کشور جمهوری آذربایجان را در شرایط نامطلوبی قرار داده و به‌دلیل جهت غالب جریان‌های دریایی در آن ناحیه به سمت سواحل شمال غربی ایران، در صورت عدم پیشگیری از وقوع نشت نفت، آب‌های سواحل کشور ما را آلوده ساخته و اکوسیستم دریایی منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین باید برای جمع‌آوری و پاکسازی لکه‌های نفتی در اطراف این تأسیسات با استفاده از روش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی نسبت به پاکسازی آلودگی‌های نفتی روی سطح آب اقدام شود.

**واژه‌های کلیدی:** تصاویر اپتیکی، تصویرهای راداری، لکه‌های نفتی، روابط نسبت بان‌دی، استخراج عوارض.

## مقدمه

نفت‌خوار را افزایش داده که در نتیجه‌ی آن اکسیژن لازم برای موجودهای دریایی کاهش می‌یابد. مواد نفتی در محیط آبی به موجوداتی که روی آب و داخل آن زندگی می‌کنند آسیب می‌رساند، همچنین می‌تواند زنجیره‌ی غذایی که شامل منبع‌های غذایی انسان‌ها هم هست را مختل کند (Howari, 2004). به‌دلیل اهمیت حفاظت از سواحل، ارزیابی مکان دقیق آلودگی نفتی و میزان جابجایی لکه‌ها بسیار مهم است. در تغییرهای اقلیمی جهانی، ایجاد مانع توسط لکه‌ها در تبادلات بین سطح دریا و هوا منجر به کاهش سطح تبخیر شده و همچنین سبب کاهش قابل توجه تبادل دی‌اکسیدکربن و گرما بین هوا و دریا می‌شود. بنابراین بایستی لکه‌های نفتی در مدل‌های تغییرهای آب و هوایی در نظر گرفته شوند و تقویت و تشدید نظارت بر لکه‌های نفتی بسیار ضروری است (Girard-Ardhuin et al., 2003). دانستن ابعاد و اندازه‌ی لکه‌های نفتی در تشخیص پتانسیل آن‌ها در ایجاد خسارت در اکوسیستم آبرزی خیلی راه‌گشا نمی‌باشد. به‌عنوان نمونه حتی یک لکه-ی کوچک در محیط زیست حساسی مانند دریا می‌تواند اثرهای ویران‌کننده‌ای داشته باشد (Pavlakis et al., 1996). نوع و بزرگی آسیب ناشی از لکه‌های نفتی بسیار با

با رشد سریع اقتصاد در جهان، تقاضا برای نفت به سرعت رو به افزایش است و در نتیجه‌ی آن به‌دلیل وجود ذخیره-های غنی نفتی در دریا حمل و نقل مواد نفتی در آن افزایش می‌یابد. به‌همین دلیل لکه‌های نفتی ناشی از تصادفات، انفجار و غیره زیاد می‌شود. یکی از منبع‌های مهم آلودگی، سکوهای نفتی هستند، بویژه زمانی که حادثه‌ای در آن‌ها اتفاق می‌افتد، آسیب‌های محیط زیستی و اقتصادی بزرگی با خود به‌همراه دارند (Xing et al., 2015). تا زمانی که تقاضای جهانی برای محصول‌های نفتی وجود داشته باشد، آلودگی نفتی نیز ادامه خواهد داشت که اثرهای مهلک آن در اکوسیستم حساس ساحلی و دریایی به‌خوبی شناخته شده است (Pavlakis et al., 1996). اثرهای مضر آلودگی دریایی بشمار است، افزون بر اینکه ضرر اقتصادی در پی دارد، به تغییرات اقلیمی جهان و آسیب به اکوسیستم آبرزی منجر می‌شود و کنترل این آلودگی‌ها، از جمله مکان‌یابی و ارزیابی جابجایی لکه‌های نفتی حیاتی است (Akkartal and Sunar, 2008). آلودگی نفتی در محیط آبی، مانند لایه‌ای روی سطح آب قرار می‌گیرد که مانع ورود نور خورشید به آب شده و ورود اکسیژن و عمل فتوسنتز را مختل نموده و همچنین می‌تواند رشد میکروارگانیسم‌های

بررسی آلودگی نفتی در دریاها، از تصاویر راداری و اپتیکی ماهواره‌های متنوع در دریاها، برای شناسایی لکه‌های نفتی استفاده شده است. از جمله (Ivanov *et al.*, 2012) با پردازش و تجزیه و تحلیل تصاویر راداری RADARSAT-2 در سال ۲۰۱۰ بر تأسیسات نفتی جمهوری آذربایجان در دریای خزر نشان دادند که بهترین کنتراست لکه‌های نفتی در تصاویر راداری در پلاریزاسیون VV به دست آمد و بعد از تشخیص لکه‌های نفتی در تصاویر راداری RADARSAT-2، نقشه‌ی آلودگی نفتی در اطراف تأسیسات جمهوری آذربایجان در دریای خزر ایجاد شد و نشان داده شد که وضعیت آلودگی نفتی این منطقه از دهه ۹۰ میلادی تا سال ۲۰۱۰ تغییری نکرده بود. همچنین (Taravat and Del Frate, 2012) با ایجاد نسبت‌های بانندی بر تصاویر اپتیکی ماهواره‌ی Landsat7-ETM+ در خلیج مکزیک، عوارض نفتی را بازسازی کردند و سپس با الگوریتم شبکه‌ی عصبی، طبقه‌بندی نظارت شده بر تصویر انجام دادند. نتایج حاصل نشان دادند که تصاویر اپتیکی Landsat-7 توانایی تشخیص لکه‌های نفتی را دارد. در مطالعه‌ی دیگر (Lee *et al.*, 2016) پس از شناسایی بصری لکه‌های نفتی در تصاویر Landsat-8 و DUBAISAT2 در سال ۲۰۱۴، با تعریف دو دسته‌ی لایه‌ی نفت نازک و ضخیم، لکه‌ی نفتی را با استفاده از شبکه‌ی عصبی طبقه‌بندی کردند. در تحقیقی دیگر (Mityagina and Lavrova, 2016) با بررسی بصری تصاویر اپتیکی Landsat-8 و Sentinel-2 و همچنین تصاویر راداری Sentinel-1 و ENVISAT به بررسی آلودگی نفتی در منطقه‌ی تأسیسات نفتی آذربایجان پرداختند و در یک مورد برای تشخیص منطقه‌های تاریک وسیع در یکی از تصاویر راداری Sentinel-1 آن را با تصویر اپتیکی Landsat-8 همزمان با آن، تلفیق کردند. همچنین (Nezhad, Groppi *et al.*, 2018) یک رویداد نشت نفت در خلیج فارس را تنها با استفاده از تصاویر Sentinel-2 و طبقه‌بندی آن‌ها بررسی کردند که در نتیجه دیده شد که لکه‌ی نفتی به سمت

هم متفاوت است. تأثیرهای یک لکه به ویژگی‌ها و حجم لکه‌ی نفت، شرایط آب و هوایی و نوع زیست بوم‌هایی که در معرض آن قرار می‌گیرند بستگی دارد زیرا انواع مختلف زیستگاه‌ها دارای حساسیت‌های مختلف به نشت نفت هستند (United States Environmental Protection Agency, 1999). اثرهای مضر لکه‌ی نفتی نه تنها روی سطح آب دیده می‌شود بلکه اجزای آن در هوا، ستون آب و کف دریا نیز یافت می‌شود (Zeinstra-Helfrich, 2016). آسیب‌های محیط زیستی مرتبط با آلودگی نفتی در دریاها بسته که چرخه‌ی آب غیر تجدیدپذیر دارند بسیار مورد توجه قرار می‌گیرد. ویژگی‌های منحصر به فرد هواشناسی و اقیانوس‌شناختی محلی می‌تواند تداوم اجتماع ذرات نفت را کم و زیاد کند (Pavlakis *et al.*, 1996). در این رابطه سنجش از دور در جمع‌آوری اطلاعات مربوط به آلودگی نفتی نقش بسیار مهمی دارد (Howari 2004). در ۱۵ سال گذشته، با دسترسی بیشتر به تصاویر ماهواره‌ای، پیدا کردن لکه‌های نفتی با استفاده از آن‌ها به‌عنوان یک روش کاربردی، رونق گرفته است (Topouzelis and Singha, 2016). سنجش از دور به دلیل تشخیص سریع نفت شناور در سطح آب و نوع آن، نقش مهمی در نظارت لکه‌های نفتی دارد. این اطلاعات می‌تواند در ارزیابی‌های محیط زیستی به‌عنوان ابزاری برای پاکسازی آلودگی نفتی مورد استفاده قرار گیرد (Carnesecchi *et al.*, 2008). در حال حاضر ابزارهای مختلف سنجش از دور شامل سنجنده‌های اپتیکی، میکروویو و رادار، نصب شده بر روی سکوه‌های زمینی، هوایی و فضایی (کشتی، هواپیما و ماهواره) برای تشخیص نشت نفت در دسترس هستند. (Topouzelis, 2008). تشخیص نشت نفت با استفاده از سنجش از دور ماهواره‌ای یک راه اقتصادی و آسان برای نظارت بر منطقه‌ها گسترده است. سنجش از دور با ماهواره‌های مجهز به سنجنده‌ی راداری در حال حاضر یکی از روش‌های رایج برای بررسی آلودگی نفتی است، زیرا تحت تأثیر شرایط آب و هوایی و ابرها نیستند (Cococcioni *et al.*, 2009). در زمینه‌ی

مجاز به ۸ تا ۱۰ متر می‌رسد. لایه‌ی نفت روی سطح دریا در منطقه‌ی باکو می‌تواند از ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلومتر مربع و حتی ۱۵۰۰ کیلومتر مربع را پوشش دهد. براساس دو مطالعه‌ی یاد شده (Ivanov *et al.*, 2012) و Mityagina and Lavrova (2016) در دریای خزر که بررسی آلودگی نفتی در این منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای راداری و اپتیکی RADARSAT2، DUBAISAT2، ENVISAT، Sentinel-1، Sentinel-2، Landsat-8 به صورت آنالیز بصری و تلفیق تصاویر راداری و اپتیکی انجام گرفت، با توجه به ویژگی‌های خاص جریان در خزر میانی، آلودگی نفتی تحت اثر جریان‌های غالب منتشر می‌شود که به طور عمده در جهت شبه جزیره آبشرون و خلیج باکو هست. در ارتباط با باد شمال، نفت شناور می‌تواند به سواحل آذربایجان و از آنجا به سمت سواحل جنوب غربی دریای خزر حرکت کند. بنابراین از جهت محیط زیستی بررسی آلودگی نفتی این منطقه از اهمیت زیادی برخوردار است. در بیشتر مطالعات قبلی بررسی آلودگی نفتی یا به تنهایی با ماهواره‌های راداری به صورت بصری بوده که منطقه‌های تیره مشاهده شده به عنوان نفت در نظر گرفته شده بودند که به طور معمول لکه‌های شناسایی شده از این روش به دلیل وجود علائم کاذب در تصاویر راداری مورد اعتماد نیستند و یا تنها از ماهواره‌های اپتیکی استفاده شده بود که لکه‌های نفتی در آن‌ها یا به صورت بصری بارز شدند و یا پردازش‌هایی مانند نسبت باندی و طبقه بندی نظارت شده بر آن‌ها انجام شده بود که در این روش‌ها نیز در تشخیص لکه‌ها از ماهواره‌های راداری که سیستم‌های اصلی تشخیص آلودگی نفتی هستند کمک گرفته نشده بود. همچنین در مطالعات اندکی که در مورد تحلیل همزمان تصاویر راداری و اپتیکی برای تشخیص لکه‌ی نفتی بود تشخیص لکه‌های نفتی در تصاویر به صورت بصری مورد مطالعه قرار گرفت درحالیکه برای تشخیص دقیق لکه‌ی نفتی، بعد از شناسایی نواحی تیره در تصویر راداری باید پردازش‌های بیشتر روی تصاویر اپتیکی انجام داد که ویژگی‌های لکه‌ی نفتی را بارزتر کند.

ساحل حرکت و وسعت آن تغییر می‌کند. همچنین در تحقیقی که (Kolokoussis and Karathanassi, 2018) بر آب‌های جزیره‌های یونان انجام دادند از نسبت‌های باندی ماهواره Sentinel-2 و باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۸، ۹ و ۱۱ با استفاده از دو روش آنالیز شیء محور انجام شد که نتایج قابل قبولی در آشکار سازی لکه نفتی داشته است. در مطالعه‌ای دیگر با استفاده از پارامترهای بلند مدت میانگین و انحراف معیار از سری زمانی داده‌های ماهواره مودیس از لکه نفتی، بارزسازی صورت گرفت (Raygani *et al.*, 2019). براساس نکته‌های به دست آمده از مطالعات Ivanov *et al.* (2012) و Mityagina and Lavrova (2016) تأسیسات نفتی جمهوری آذربایجان به نام Oil Rocks که در دریای خزر واقع شده است از نظر آلودگی نفتی مورد توجه قرار گرفته است. توسعه‌ی میدان‌های نفتی دریای خزر از اواخر قرن ۱۹ شروع شد و پویایی اقتصاد منطقه‌ی دریای خزر به شدت به تقاضای انرژی توسط مشتری‌های عمده‌ی جهانی و منطقه‌ای مانند اتحادیه اروپا، چین و هند وابسته است. بنابراین اکتشاف ذخیره‌های نفت و گاز جدید و بهره برداری از منبع‌های کشف شده و در نتیجه آن حمل و نقل مواد نفتی با استفاده از تانکرهای دریایی و خطوط لوله به طور قابل توجهی افزایش یافته است. همچنین تمرکز اصلی صنعت نفت در جمهوری آذربایجان، ترکمنستان و قزاقستان است (CSNRC, 2011). یکی از تأسیسات نفتی موجود در دریای خزر که از نظر آلودگی نفتی مورد توجه قرار گرفته است، تأسیسات نفتی Oil Rocks هست. از ویژگی‌های بارز این تأسیسات نفتی که در آب‌های جمهوری آذربایجان قرار دارد، وجود لکه‌های نفتی شناور در اطراف آن است. دلیل اصلی این آلودگی، نشت مستمر از سیستم‌های معیوب و خطوط لوله در حین تولید و حمل و نقل است. بنابراین خلیج باکو به دلیل نشت نفت مستمر یکی از مهمترین منطقه‌های آلوده به نفت در جهان است و به اصطلاح منطقه‌ی مرده محسوب می‌شود. ضخامت رسوب‌های آلوده بستر با غلظت مواد سمی بیش از حداکثر مقدار

جغرافیایی ۴۰/۲۳۹۴ در ۱۰۰ کیلومتری باکو (مرکز جمهوری آذربایجان) و ۵۵ کیلومتری از نزدیکترین ساحل دریای خزر به‌عنوان یکی از منبع‌های آلودگی نفتی مورد مطالعه قرار گرفت (شکل ۱). این مجموعه در اواخر دهه ۴۰ میلادی توسط اتحاد جماهیر شوروی ساخته شد و از ۱۹۵۰ به‌طور مرتب نفت تولید کرده است. این جزیره مصنوعی، اولین سکوی نفت در آذربایجان و اولین سکوی نفتی در جهان است که شامل سیستم‌های حفاری متعدد است.

### تشخیص آلودگی نفتی در تصاویر ماهواره‌ای

برای بررسی لکه‌های نفتی سطح آب در اطراف تأسیسات نفتی Oil Rocks از ماهواره Landsat-8 دارای قدرت تفکیک مکانی ۱۵ تا ۶۰ متر و باندهای آن در محدوده طیفی ۰/۴۳ تا ۱/۳۸ میکرومتر هست، همچنین ماهواره Sentinel-2 دارای قدرت تفکیک مکانی ۱۰ تا ۶۰ هست و باندهای آن در محدوده طیفی ۰/۴۲ تا ۲/۴۱ میکرومتر می‌باشد، استفاده شد. این دو ماهواره از نظر ویژگی‌های اپتیکی باندهای نزدیک به هم دارند و تصاویر آن‌ها از نظر قدرت تفکیک مکانی قابل تغییر به ۱۰ متر و ۱۵ متر هست که رزولوشن مکانی مناسبی برای شناسایی آلودگی نفتی هست. همچنین دوره‌های بازبینی این ماهواره‌ها به گونه‌ای هست که تصاویر هم زمان یا با فاصله زمانی کم از هم تولید می‌کنند. همچنین برای صحت سنجی لکه‌های شناسایی شده از تصاویر راداری ماهواره Sentinel-1 که از

در این مطالعه، برای ارتقاء قابلیت تشخیص نواحی آلودگی نفتی از بررسی همزمان ماهواره‌های اپتیکی Landsat-8، Sentinel-2 و ماهواره‌ی راداری Sentinel-1 به‌دلیل قدرت تفکیک مکانی بالا و دوره بازبینی نزدیک به هم برای مطالعه‌ی آلودگی نفتی در منطقه‌ی تأسیسات نفتی آذربایجان در سال ۲۰۱۷ استفاده شد و در این روش پس از شناسایی لکه‌های موجود در تصاویر راداری برای اطمینان از نفت بودن لکه‌های مشاهده شده، خروجی عملیات نسبت بانندی بر تصاویر اپتیکی به‌عنوان ورودی روش استخراج عوارض مورد استفاده قرار گرفت که دقت بیشتری در تفکیک کلاس‌ها از هم دارد که در نتیجه افزون بر تشخیص محدوده دقیق آن‌ها، لکه نفتی در دسته‌های ضخیم و نازک طبقه بندی شد.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

دریای خزر با پنج کشور ساحلی ایران، جمهوری آذربایجان، ترکمنستان، روسیه و قزاقستان احاطه شده و بزرگترین بدنه‌ی آبی محاط در خشکی به حساب می‌آید و همچنین جزء بزرگترین منطقه‌های نفت خیز جهان محسوب می‌شود و از نظر منابع غنی نفتی بعد از خاورمیانه در جایگاه دوم قرار می‌گیرد. در این تحقیق، براساس مطالعات انجام شده، منطقه تأسیسات صنعتی میدان نفتی Oil Rocks واقع در طول جغرافیایی ۵۰/۸۵۸۳ و عرض



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در دریای خزر

Fig. 1- Location of the study area in the Caspian Sea

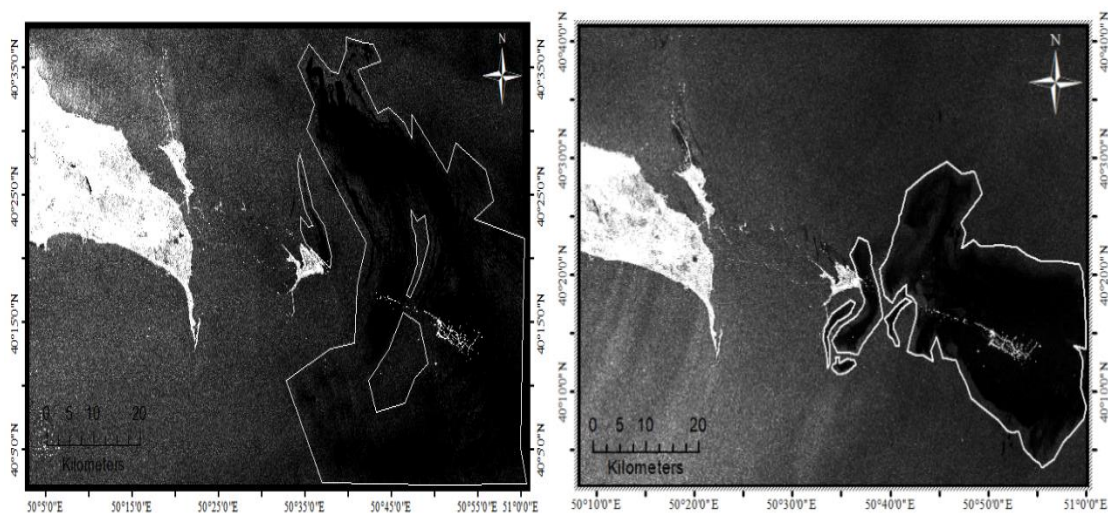
## تشخیص لکه نفت در تصاویرهای اپتیکی

تصاویرهای اپتیکی دریافت شده از منطقه‌ی تأسیسات نفتی Oil Rocks برای ماه‌های آوریل و ژوئن سال ۲۰۱۷ در شکل‌های ۳ و ۴ قابل مشاهده هست. لکه در اطراف تأسیسات نفتی، با آب‌های اطراف کنتراست قابل توجهی دارد و به‌خوبی قابل رؤیت است. بررسی‌های طیفی در چند مقطع دلخواه در تصاویر Landsat-8 در باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک نشان داد که در قسمت‌هایی که لکه به‌وسیله نور خورشید درخشان شده بود و رنگ روشن‌تری داشت نسبت به آب‌های اطراف افزایش بازتاب و در جاهایی که لکه به رنگ تیره‌تر دیده شد که ناشی از نرسیدن نور کافی خورشید و هموارسازی سطح آب می‌باشد، نسبت به آب‌های اطراف به صورت قابل توجهی کاهش بازتاب داشت. پدیده‌ی لکه‌ی نفتی به‌عنوان یک عارضه‌ی سطحی، با استفاده از ویژگی‌های مکانی، طیفی و بافت قابل استخراج است. بنابراین برای استخراج این عوارض در ابتدا براساس مطالعه‌ی (Taravat and Del Frate (2012) برای بارزسازی ناحیه‌ی آلودگی نفتی در تصاویر شکل‌های ۳ و ۴، با استفاده از نسبت‌های بانندی، در مرحله‌ی پیش پردازش، داده‌های اپتیکی تنها نیاز به تصحیح هندسی دارند.

یک باند C-SAR با قطبش دوگانه (HH+VV+VH+HV) که انتقال آن به‌صورت V یا H و دو دریافت موازی برای قطبش V و H دارد تشکیل شده است، استفاده شد. برای هر سه ماهواره، تمام تصاویر سال ۲۰۱۷ بررسی شده و از بین آن‌ها تصاویری انتخاب شد که هم از نظر شرایط آب و هوایی مناسب بودند هم از نظر زمانی با هم قرابت داشتند.

## شناسایی لکه‌ی نفت در تصاویر راداری

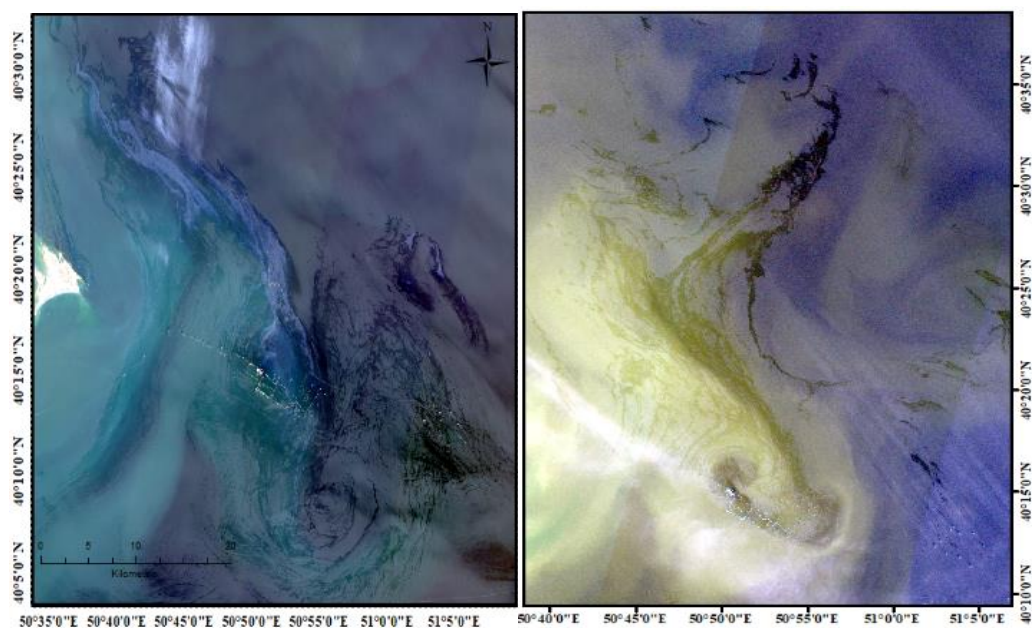
در این مطالعه، برای بررسی لکه‌های نفتی در تصاویر راداری از تصاویر ماهواره‌ی راداری Sentinel-1 استفاده شد که در ابتدا روی آن‌ها پیش پردازش‌هایی نظیر کالیبره کردن، کاهش نویز و تصحیحات زمینی، جهت بهبود تصاویر انجام شد که نتایج آن در شکل ۲ که متعلق به منطقه‌ی Oil Rocks در ماه‌های آوریل و ژوئن سال ۲۰۱۷ هستند، نشان داده شده است. برای شناسایی لکه‌های موجود در تصاویر با روزه مصنوعی<sup>۱</sup>، ابتدا منطقه‌های تاریک که با محیط آب-های اطراف تمایز قابل توجهی دارند تشخیص داده شد. نواحی تیره مشکوک به نشت نفت که در شکل ۲ با خط سفید دور آن‌ها مشخص شد به‌عنوان لکه‌های نفتی احتمالی در نظر گرفته شدند.



شکل ۲- تصاویر راداری Sentinel-1 از منطقه‌ی Oil Rocks: راست: تاریخ ۵ ژوئن ۲۰۱۷، چپ: تاریخ ۱۸ آوریل

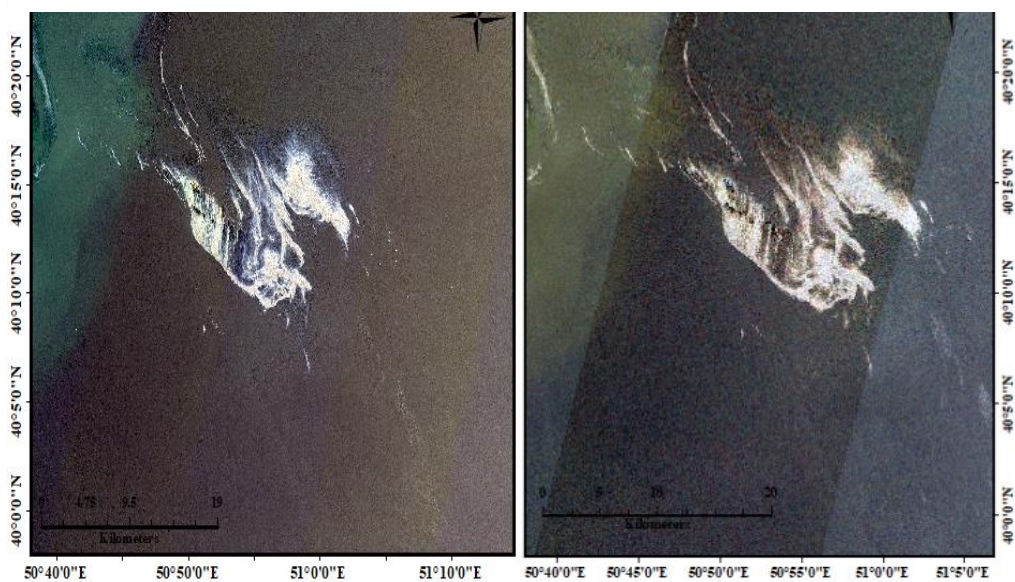
۲۰۱۷

Fig. 2- Sentine-1 images of Oil Rocks. Right: 5 June 2017; Left: 18 April 2017



شکل ۳- تصاویرهای اپتیک از منطقه Oil Rocks. راست: تصویر Sentinel-2، تاریخ ۶ آوریل ۲۰۱۷، چپ: تصویر Landsat-8، تاریخ ۱۸ آوریل ۲۰۱۷

**Fig. 3- Optical images of Oil Rocks settlement. Right: Sentinel-2 image on 6 April 2017; Left: Landsat-8 image on 18 April 2017**



شکل ۴- تصاویرهای اپتیک از منطقه Oil Rocks. راست: تصویر Sentinel-2، تاریخ ۵ ژوئن ۲۰۱۷، چپ: تصویر Landsat-8 در تاریخ ۵ ژوئن ۲۰۱۷

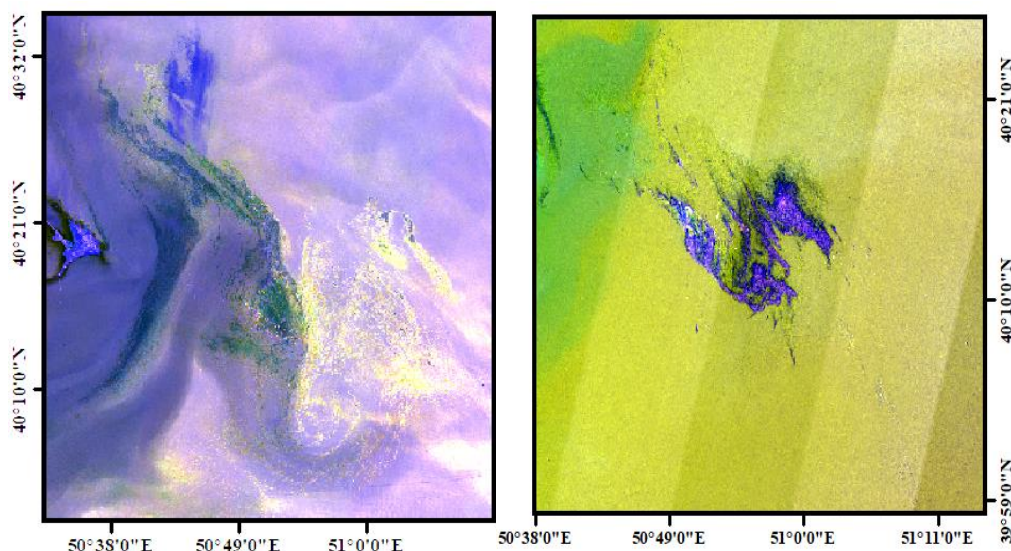
**Fig. 4- Optical images of Oil Rocks settlement. Right: Sentinel-2 on 5 June 2017; Left: Landsat-8 on 5 June 2017**

در این روش، داده‌های نسبت بانندی به‌عنوان ورودی، نسبت به داده‌های اصلی آن به‌طور قابل توجهی سبب کمک به انتخاب دقیق‌تر نمونه‌های تعلیمی می‌شود. برای ایجاد تصویر طبقه‌بندی شده براساس نمونه‌های برداشتی از تصاویر، از روش KNN<sup>۳</sup> استفاده شد که براساس الگوریتم نزدیکترین همسایه هست و این روش سرعت بیشتری در پردازش داده‌ها داشته و دقت قابل قبولی در طبقه‌بندی داده‌ها نشان می‌دهد و نتیجه‌ی طبقه‌بندی با این روش در تصاویر شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. در این تصاویر، لکه‌های نفتی با دقت به‌نسبت بالایی استخراج و لکه‌ها در دو دسته‌ی لایه‌ی نفت متراکم (بنفش تیره) و لایه‌ی نفت مخلوط با آب (بنفش روشن) طبقه‌بندی شدند. همچنین در این تصاویر خشکی و تأسیسات نفتی به رنگ زرد قابل مشاهده هستند.

سپس با اعمال روابط نسبت بانندی (رابطه ۱) به تصاویر اپتیکال Landsat-8 و Sentinel-2 دیده شد که لکه‌های نفتی در تصاویر نسبت بانندی Landsat-8 طبق شکل ۵-به خوبی بارز شدند و لکه‌ی نفتی در قسمت‌هایی که تراکم بیشتری داشت به رنگ‌های سبز و آبی تیره دیده شد و در نواحی‌ای که توسط جریان آب بیشتر پخش شده بود به رنگ زرد و سبز روشن مشاهده شد. اما این نسبت‌های بانندی بر تصاویر Sentinel-2 برای بارز سازی لکه‌ی نفتی نه تنها تأثیر مثبت نداشته است، بلکه سبب از بین رفتن وضوح تصویر شد.

برای مدل کردن ویژگی‌های تصاویر اپتیکال، تصاویر نسبت بانندی Landsat-8 و تصاویر زمین مرجع Sentinel-2 به-عنوان ورودی، روش استخراج عوارض<sup>۲</sup> در نظر گرفته شد.

$$\begin{aligned}
 RS1 &= (B3 - B2) / B1 \\
 RS2 &= B3 / (B2 * B1) \\
 RS3 &= B4 / (B2 * B1)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

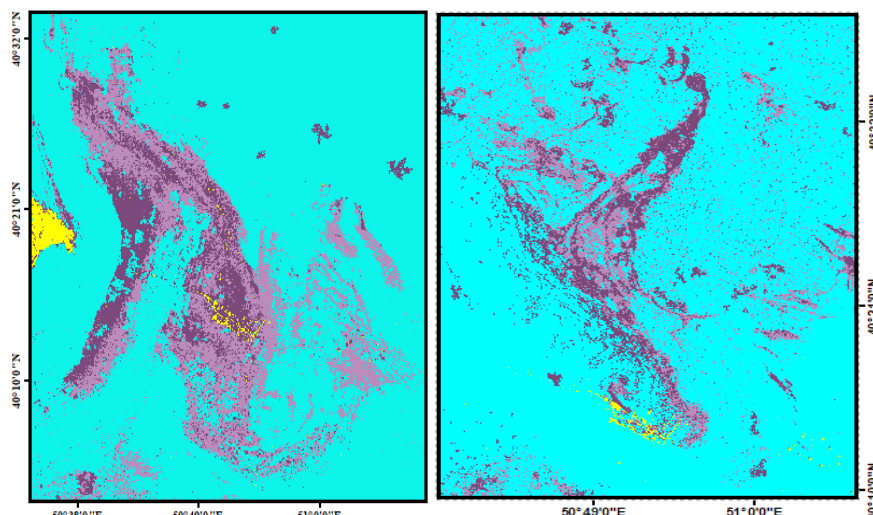


شکل ۵- تصاویرهای اپتیکال ماهواره Landsat-8 در منطقه Oil Rocks بعد از اعمال روابط نسبت بانندی.

راست: تاریخ ۵ ژوئن ۲۰۱۷، چپ: تاریخ ۱۸ آوریل ۲۰۱۷

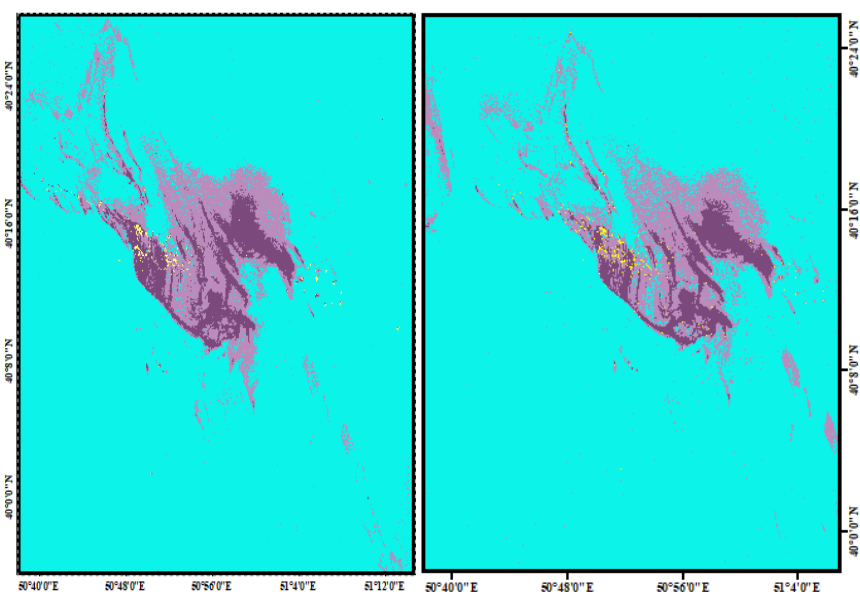
Fig. 5- Landsat-8 band ratio images of Oil Rocks region. Right: 5 June 2017; Left: 18 April 2017





شکل ۶- نتایج روش استخراج عوارض بر تصاویر اپتیکی. راست: تصویر Sentinel-2، تاریخ ۶ آوریل ۲۰۱۷ و چپ: تصویر Landsat-8 در تاریخ ۱۸ آوریل ۲۰۱۷

Fig. 6- Results of extraction method on optical images. Right: Sentinel-2 on 6 April 2017; Left: Landsat-8 on 18 April 2017



شکل ۷- نتایج روش استخراج عوارض بر تصاویر اپتیکی. راست: تصویر Sentinel-2 در تاریخ ۵ ژوئن ۲۰۱۷ و چپ: تصویر Landsat-8 در تاریخ ۵ ژوئن ۲۰۱۷

Fig. 7- Results of extraction method on optical images. Right: Sentinel-2 image on 5 June 2017; Left: Landsat-8 image on 5 June 2017

## نتایج و بحث

در سطح دریا با لایه‌ی زیستی<sup>۴</sup>، تحلیل مشترک از داده‌های راداری و اپتیکی انجام شد. زیرا نظارت تنها براساس SAR ممکن است به دلیل ابهام‌های ناشی از پدیده‌های طبیعی دیگر، مانند لایه‌های زیستی که انعکاس

نتایج استفاده‌ی همزمان از سنجنده‌های مختلف نشان دهنده بهبود قابلیت تشخیص نفت است. بنابراین با اینکه SAR سنجنده اصلی در شناسایی لکه‌های نفتی است، برای تشخیص و تفکیک لایه‌ی آلودگی شناسایی شده‌ی نفتی

نظارت و پاسخ سریع، این روابط نسبت باندی به تنهایی قابلیت آشکارسازی لکه های نفتی را در تصاویر Landat-8 دارند (شکل ۵). اما برای دست یافتن به شناخت بیشتر از لکه های شناسایی شده و ایجاد نقشه های قابل استنادتر، فضای داده به دسته هایی طبقه بندی شد که با توجه به اطلاعات پیکسل ها، تعداد آن ها معین گردید. براساس این موضوع، با توجه به تصاویر اصلی و تصاویر نسبت باندی، چهار کلاس ۱- لایه نفت متراکم، ۲- مخلوط نفت و آب، ۳- آب و ۴- نویز در نظر گرفته شد و برای هر کلاس نمونه های تعلیمی برداشت شد و با استفاده از روش استخراج عوارض، تصاویر طبقه بندی گردید. از آنجا که از نظر خواص طیفی کلاس آب و کلاس مخلوط آب و نفت به هم نزدیک هستند، همانطور که در تصاویر شکل های ۶ و ۷ به خوبی دیده می شود این دو کلاس با این روش به خوبی تفکیک شدند. در نتیجه میزان سطح آلودگی نفتی از تصاویر طبقه بندی شده با روش استخراج اطلاعات به دست آمد و نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

امواج را کاهش می دهند، تشخیص لکه های نفتی را مختل کند (Mityagina and Lavrova, 2016). بنابراین سنسورهای چند طیفی به دلیل اینکه ویژگی های طیفی سطح دریا را ثبت و اطلاعات اضافی برای تشخیص لکه های مختلف از هم را فراهم می کنند به طوریکه در داده های اپتیک، لایه های نفت و زیستی متفاوت ظاهر می شوند (Carnesecchi et al., 2008).

با توجه به تصاویر راداری شکل ۲ (ماه های آوریل و ژوئن)، ناحیه ی تیره رنگ شناسایی شده که به عنوان لکه های نفتی در نظر گرفته شده بود، در بررسی های تصاویر اپتیک Landat-8 و Sentinel-2 در تاریخ های مشابه، به صورت لایه ای با کنتراست قابل توجه، به شکل مشابهی با تصاویر راداری آن ها دیده شد (شکل های ۳ و ۴). بر این اساس، روابط نسبت باندی رابطه (۱) که برای بارز سازی لکه های نفتی از مطالعه ی Taravat and Del Frate (2012) به دست آمده بودند، در این پژوهش بر تصاویر Landat-8 اعمال گردید و دیده شد که در مواقع نشست نفت برای

جدول ۱- سطح آلودگی نفتی در تصاویر

Table 1. Oil contamination area in images

تصاویر/زمان Images/Date	مساحت (کیلو متر مربع) Area (Km <sup>2</sup> )	اندازه پیکسل (متر) Pixel size (m)	عارضه Feature	مساحت (کیلو متر مربع) Area (Km <sup>2</sup> )	سطح آلودگی تصویر Surface contamination (%)	دقت Accuracy
سنتینل ۲، ۶ آوریل ۲۰۱۷ Sentinel2, 6 April 2017	2152	10	کلاس ۱	177.2	18.74	93%
			کلاس ۲	226.1		
لندست ۸، ۱۸ آوریل ۲۰۱۷ Landsat8, 18 April 2017	4271	30	کلاس ۱	259.16	17.55	96%
			کلاس ۲	490.42		
سنتینل ۲، ۵ ژوئن ۲۰۱۷ Sentinel2, 5 June 2017	2103	10	کلاس ۱	65.42	11.43	96%
			کلاس ۲	175.1		
لندست ۸، ۵ ژوئن ۲۰۱۷ Landsat8, 5 June 2017	2679	15	کلاس ۱	67.3	9.15	95%
			کلاس ۲	177.87		

مکان لکه‌های نفتی با دقت بالا ممکن نبوده ولی استفاده از تصاویر رادار که قابلیت نشان اطلاعات لازم با وجود پوشش ابر را دارد می‌تواند در افزایش قدرت تفکیک زمانی داده‌های ماهواره‌ای مورد نیاز تحقیق مؤثر باشد.

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه پس از بررسی تصاویر راداری و یافتن نشانه‌های آلودگی نفتی، برای تشخیص سریع میزان گستردگی نشت نفت، از عملیات نسبت بانندی بر تصاویر Landat-8 استفاده شد و همچنین برای شناخت بهتر جزئیات ناحیه‌ی آلوده به نفت، عملیات طبقه‌بندی به روش استخراج عوارض بر تصاویر Landat-8 و Sentinel-2، جزئیات را با دقت و کیفیت خوبی نشان داد. بررسی در دو ماه آوریل و ژوئن در سال ۲۰۱۷ نشان داد که تأسیسات Oil Rocks منبع آلودگی نفتی در آب‌های خزری جمهوری آذربایجان است و تجمع نفت در اطراف آن، آلودگی محیط زیستی به وجود آورده است که با توجه به جهت جریان‌های دریای خزر که از آذربایجان به سمت سواحل شمال غربی ایران هست و براساس مساحت‌های زیاد آن‌ها که از تصاویر به دست آمد باید برای عملیات پاکسازی آن با استفاده از روش‌های پاکسازی معمول فیزیکی، شیمیایی و زیستی مانند استفاده از جاذب‌های نانو، جداسازی به کمک کفگیر، استفاده از میکروارگانسیم‌های تجزیه‌کننده‌ی هیدروکربن‌های نفتی و غیره به کار گرفته شود. همچنین از آنجا که ماهواره‌های اپتیکی در شرایط آب و هوایی ابری تصاویر قابل استنادی ندارند پیشنهاد می‌شود که در کنار سنجش از دور از روش‌های مشاهدات زمینی مانند بازدید از محل آلودگی با پهباد هم انجام شود. همچنین این روش می‌تواند به عنوان صحت سنجی زمینی داده‌های ماهواره‌ای به کار گرفته شود. مشاهدات زمینی از سطح دریاها مستلزم صرف وقت و

نتایج نشان می‌دهد کل سطح آلوده نفتی در تصویر Sentinel-2 (۶ آوریل ۲۰۱۷)،  $4033 \text{ km}^2$  به دست آمد که در طی ۱۲ روز در تاریخ ۱۸ آوریل ۲۰۱۷ این مساحت به  $750 \text{ km}^2$  افزایش یافت. افزایش مساحت این لکه در طی این مدت می‌تواند نشان دهنده افزایش نشت نفت از تأسیسات Oil Rocks و یا در نتیجه‌ی پخش و گسترش آن به وسیله جریان‌های دریا باشد. از آنجائیکه در این مطالعه تغییرهای مساحت نفت خالص (کلاس ۱) به طور مجزا با مساحت مخلوط آب و نفت (کلاس ۲) با گذشت زمان مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان دهنده افزایش مقادیر هر دو کلاس می‌باشد می‌توان نتیجه گرفت که افزون بر پخش به وسیله جریان‌های دریایی، نشت نفت از منشاء تولید نیز ادامه داشته است. به منظور بررسی قابلیت همزمان Landat-8 و Sentinel-2 در تعیین سطح آلودگی نفتی، تصاویر در تاریخ ۵ ژوئن ۲۰۱۷ مورد بررسی قرار گرفت و مساحت‌های نشان داده شده در جدول ۱ (به ترتیب ۲۴۵/۱۷ و ۲۴۰/۵۲ کیلومتر مربع) نزدیک به هم به دست آمدند. به منظور ارزیابی کیفیت فرآیند طبقه‌بندی تصاویر، لکه‌های نفتی شناسایی شده مورد بررسی قرار گرفتند. در برخی لکه‌های نفتی، تعدادی از پیکسل‌های تصویر، داخل محدوده لکه نفتی به دلیل وجود نویز تصویر به عنوان کلاس تأسیسات نفتی طبقه‌بندی شده بودند. این دسته از پیکسل‌ها به عنوان خطای طبقه‌بندی محسوب شده و برای محاسبه دقت طبقه‌بندی که در جدول ۱ نشان داده شده، استفاده شد. نتایج مطرح شده، بیانگر دقت بالا در شناسایی لکه‌های نفتی با استفاده از روش پیشنهادی است. با توجه به محدودیت در استفاده از تصاویر با پوشش ابر کمتر از ۱۰ درصد از منطقه، امکان شناسایی لکه‌های نفتی در بازه زمانی کمتر میسر نبود. بنابراین پیش‌بینی دقیق تغییر

نرم افزارهای مدل سازی هیدرولیکی جهت یابی شود.

### پی نوشتها

<sup>1</sup> Synthetic Aperture Radar (SAR)

<sup>2</sup> Feature Extraction

<sup>3</sup> K Nearest Neighbors

<sup>4</sup> Biologic

هزینه های زیادی است از این رو روش سنجش از دور ماهواره ای روشی آسان و کم هزینه برای بررسی آلودگی در سطح دریاها محسوب می شود بنابراین می تواند یکی از اولین انتخابها در مواقع حوادث نفتی در دریاها باشد. در راستای تحقیق های بیشتر در این زمینه می توان با استفاده از نتایج به دست آمده از تصاویر ماهواره ای جهت پخش لکه های نفتی یافت شده در آنها با

### منابع

Akkartal, A. and Sunar, F., 2008. The usage of radar images in oil spill detection. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 37, 271-276.

CSNRC, 2011. Caspian Sea State of the Environment. Caspian Environment Program, Interim Secretariat of the Framework Convention for the Protection of the Marine Environment of the Caspian Sea. Available online at: wri.ac.ir/csnrc.

Carnesecchi, F., Byfield, V., Cipollini, P., Corsini, G. and Diani, M., 2008. An optical model for the interpretation of remotely sensed multispectral images of oil spill. Proceedings of Remote Sensing Of The Ocean, Sea Ice, and Large Water Regions, 15<sup>th</sup> September, Cardiff, Wales, United Kingdom.

Cococcioni, M., Corucci, L. and Lazzerini, B., 2009. Issues and preliminary results in oil spill detection using optical remotely sensed images. In Proceeding of Oceans -Europe, 11<sup>th</sup> - 14<sup>th</sup> May, Germany.

Girard-Ardhuin, F., Mercier, G. and Garello, R., 2003. Oil slick detection by SAR imagery: potential and limitation. Oceans. 1, 164-169.

Howari, F., 2004. Investigation of hydrocarbon pollution in the vicinity of United Arab Emirates coasts using visible and near infrared remote sensing data. Journal of Coastal Research. 20(4), 1089-1095.

Ivanov, A.Y., Dostovalov, M.Y. and Sineva, A.A., 2012. Characterization of oil pollution around the oil rocks production site in the

Caspian Sea using spaceborne polarimetric SAR imagery. Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 48(9), 1014-1026.

Kolokoussis, P. and Karathanassi, V., 2018. Oil spill detection and mapping using sentinel 2 imagery. Journal of Marine Science and Engineering. 6(1), 1-12.

Lee, M.S., Park, K.A., Lee, H.R., Park, J.J., Kang, C.K. and Lee, M., 2016. Detection and dispersion of oil spills from satellite optical images in a coastal bay. International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 10<sup>th</sup> - 15<sup>th</sup> July, Beijing, China.

Mityagina, M. and Lavrova, O., 2016. Satellite survey of inner seas: oil pollution in the Black and Caspian seas. Remote Sensing. 8(10), 1-24.

Majidi Nezhad, M., Groppi, D., Laneve, G., Marzioletti, V. and Piras, G., 2018. Oil spill detection analyzing "Sentinel 2" satellite images: a Persian Gulf case study. In Proceeding of the 3<sup>rd</sup> World Congress on Civil, Structural and Environmental Engineering, 8<sup>th</sup> - 10<sup>th</sup> April, Budapest, Hungary.

Pavlakakis, P., Sieber, A. and Alexandry, S., 1996. Monitoring oil-spill pollution in the Mediterranean with ERS SAR. European space agency. Earth Observation Quarterly. 52, 8-11.

Raygani, B., Najafi Yasuri, M., Bodagh Jamali, J. and Sarkheil, H., 2019. Detection of oil spill hotspots using time-series MODIS Data (case study: Persian Gulf). Petroleum Research. 29(98-5), 97-106.

Taravat, A. and Del Frate, F., 2012. Development of band ratioing algorithms and neural networks to detection of oil spills using Landsat ETM+ data. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing. 107, 1-8.

Topouzelis, K., 2008. Oil spill detection by SAR images: dark formation detection, feature extraction and classification algorithms. Sensors. 8(10), 6642-6659.

Topouzelis, K. and Singha, S., 2016. Oil spill detection: past and future trends. ESA Living Planet Symposium, 9<sup>th</sup> - 13<sup>th</sup> May, Prague, Czech Republic. United States Environmental Protection Agency, Office of Emergency and Remedial Response., 1999. Understanding oil spills and oil spill response.

Understanding Oil Spills In Freshwater Environments, Washington DC., USA.

Xing, Q., Meng, R., Lou, M., Bing, L. and Liu, X., 2015. Remote sensing of ships and offshore oil platforms and mapping the marine oil spill risk source in the Bohai Sea. Aquatic Procedia. 3, 127-132.

Zeinstra-Helfrich, M., 2016. Oil slick fate in 3D: predicting the influence of (natural and chemical) dispersion on oil slick fate. Ph.D. Thesis. Wageningen University, Netherlands.





Environmental Sciences Vol.18 /No.3 / Autumn2020

152-166

## Detection of oil spill hotspots in the Caspian Sea using remote sensing (case study: Baku oil extraction facility)

Daryoush Yousefi Kebria<sup>1\*</sup>, Ghazal Abaskhanian<sup>1</sup>, Ebadat Ghanbari Parmehr<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Environment Engineering, Faculty of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

<sup>2</sup>Department of Geomatics Engineering, Faculty of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

Received: 2019.08.06 Accepted: 2020.05.28

Yousefi Kebria<sup>1</sup>, D., Abaskhanian, G. and Ghanbari Parmehr, E., 2020. Detection of oil spill hotspots in the Caspian Sea using remote sensing (case study: Baku oil extraction facility). *Environmental Sciences*. 18(3):152-166.

**Introduction:** Due to the presence of oil resources in the seas, the exploration, extraction, and transportation of petroleum products lead to the formation of hydrocarbon spills on the surface waters, resulting in a decrease in the quality of these waters. Oil leakage into the sea has irreparable environmental consequences and disrupts coastal and offshore ecosystems. As a result, identifying the location and time of oil accidents and recognizing the extent and magnitude of contamination is of great importance for monitoring and protecting the health of the environment and is now facilitated and possible by remote sensing data using optical and radar satellites. In this study, to enhance the detection of oil-contaminated areas in Azerbaijan oil facilities in the Caspian Sea, we simultaneously used the optical satellites LANDSAT8, SENTINEL2, and radar satellite SENTINEL1 because of the high spatial resolution and close period.

**Material and methods:** In this study, oil contamination caused by Oil Rocks facilities was investigated by satellite images between April and June 2017. After detecting contamination spots on the surface of the water around the facility in radar images, to ensure that the identified spots were caused by oil spills, detecting oil contamination from optical images using band ratio method. was used Then, the feature extraction method was applied to band ratio images to distinguish their complications.

**Results and discussion:** The area of oil spills in April 2017 increased within 12 days and considering the covering percentage of classes of oil and oily water in the results, the increase in the spread of oil spills through currents, and the continuation of leakage from its source was evident. Also, looking at the optical images of Landsat 8 and Sentinel 2 on June 5, 2017 showed the same results in oil contamination areas.

**Conclusion:** The results of this study showed that the band rationing method is suitable for quick detection of oil leakage. To identify the details of the area of contamination, the feature extraction method was used to classify

---

<sup>†</sup> Corresponding Author: *Email Address*. dy.kebria@nit.ac.ir  
<http://doi.org.10.29252/envs.18.3.152>

the band ratio images to the identified classes. Also, from the environmental point of view, the Oil Rocks settlement put the Caspian seawater in the Republic of Azerbaijan in unfavorable conditions. The northwestern coast of Iran is also exposed to contamination because of current directions in that region. Therefore, actions must be taken to collect and clean up oil spills around this oil facility. In order to do so, oil contamination on the water surface must be removed using existing physical and biological methods.

**Keywords:** Optical and radar images, Caspian Sea, Oil spill, Band ratio image, Feature extraction.